育成期水貂饲粮中半胱胺适宜添加水平和添加方式的研究*

孙伟丽[1]　樊燕燕[1]　王　卓[1]　谷海军[2]　杜东升[3]　李　斌[3]　李光玉*

（1.中国农业科学院特产研究所，吉林省特种经济动物分子生物学国家重点实验室，长春 130112；2.吉林特研生物技术有限公司，长春 130112；3.沈阳博阳饲料有限责任公司，辽中 110201）

摘　要：本试验旨在通过研究饲粮中半胱胺对育成期水貂生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响，确定饲粮中半胱胺的适宜添加水平和添加方式。试验采用双因子试验设计，选取 56 只（86±5）日龄、体重相近的健康雌性短毛黑水貂，随机分为 7 个组，每组 8 个重复，每个重复 1 只。Ⅰ组（对照组）饲喂基础饲粮；Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组分别在基础饲粮中添加 60、90、120 mg/kg 半胱胺，添加方式为连续添加；Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组分别在基础饲粮中添加 60、90、120 mg/kg 半胱胺，添加方式为间隔添加（连续添加 1 周，间隔 1 周）。预试期 7 d，正试期 53 d。结果表明：1）饲粮中添加半胱胺极显著影响水貂的平均日采食量和料重比（$P<0.01$），对平均日增重无显著影响（$P>0.05$）。Ⅴ组料重比极显著低于Ⅰ、Ⅱ、Ⅳ组（$P<0.01$）；平均日增重以Ⅴ组最高，间隔添加组高于连续添加组。2）饲粮中添加半胱胺显著影响水貂的粗蛋白质消化率和粗脂肪消化率（$P<0.05$），极显著影响干物质消化率（$P<0.01$），且均以Ⅴ组最高。半胱胺添加方式极显著影响水貂的干物质消化率（$P<0.01$），间隔添加组极显著高于连续添加组（$P<0.01$）。3）饲粮中添加半胱胺显著或极显著影响水貂的氮代谢指标（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组氮沉积显著高于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值均极显著高于Ⅰ组（$P<0.01$），且以Ⅴ组最高。半胱胺添加方式极显著影响水貂的食入氮含量、尿氮排出量、净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值（$P<0.01$）。间隔添加组水貂的食入氮含量和尿氮排出量极显著低于连续添加组（$P<0.01$）；间隔添加组的氮沉积显著低于连续添加组（$P<0.05$）；间隔添加组的净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值极显著高于连续添加组（$P<0.01$）。半胱胺添加水平显著影响水貂的粪氮排出量（$P<0.05$），90

收稿日期：2017-05-04

基金项目：吉林省科技发展计划项目（20150101112JC）；中国农业科学院科技创新工程（CAAS-ASTIP-2017-ISAPS）

作者简介：孙伟丽（1982—），女，硕士研究生，黑龙江牡丹江人，研究方向为特种经济动物营养与饲养。Email: tcsswl@163.com.

*通信作者：李光玉，研究员，博士生导师，E-mail: tcslgy@126.com

mg/kg 组水貂的粪氮排出量显著低于 60 mg/kg 组（$P<0.05$）。综合各项指标，育成期水貂饲粮中半胱胺的适宜添加水平为 60 mg/kg，适宜添加方式为间隔添加。

关键词：水貂；半胱胺；生长性能；营养物质消化率；氮代谢

中图分类号：S865.2^{+}2　　　　文献标识码：　　　　文章编号：

随着我国毛皮动物养殖业的迅速发展，毛皮动物主产区的饲料资源短缺问题也越来越严重，因此，开发新型饲料原料、促进饲料原料的充分利用、降低生产成本依然是毛皮动物生产面临的一大问题。饲料添加剂是配合饲料原料的三大支柱之一，具有提高饲料转化率、促进动物正常生长发育、提高免疫力等多种作用[1]。半胱胺（cysteamine，CS）作为一种饲料添加剂，具有多种生物学作用。大量研究表明，CS 能有效抑制动物体下丘脑、胃和肠道生长抑素（SS）的免疫活性和生物学功能，从而解除对生长激素（GH）等多种激素的抑制作用，进而促进动物生长，提高饲料报酬[2-3]。此外，CS 可以促进消化酶的分泌，增加消化酶的活性，加强小肠的消化能力，进而促进营养物质的消化吸收[4]。CS 还可以提高机体免疫力和抗氧化能力[5]。研究发现，CS 具有一定的剂量、时间依赖效应，高剂量添加导致消化道溃疡，低剂量对消化道黏膜有一定保护作用[6]。

CS 因无种属特异性、成本低廉、适用范围广，目前在畜禽养殖上已得到广泛应用，但是有关 CS 对毛皮动物影响的研究较少。本试验以水貂为研究对象，通过研究 CS 对其生长性能、营养物质消化率及氮代谢的影响，确定 CS 在水貂饲粮中的适宜添加水平和添加方式，为 CS 在水貂生产上的合理使用提供理论依据。

1　材料与方法

1.1 试验材料

试验采用的 CS 购自上海华扩达生物技术有限公司，其主要成分为半胱胺盐酸盐、β-环糊精、生育酚和多聚烟酸铬。该产品采用超分子技术、多层仿生物膜技术及维持生理稳态技术处理，具有一定的稳定性，纯度为 99%。

1.2 试验设计与饲养管理

试验采用双因子试验设计，即不同添加水平和添加方式。选取 56 只（86±5）日龄、体重[（795.70±63.96） g]相近的健康雌性短毛黑水貂，随机分为 7 个组，每个组 8 个重复，每个重复 1 只。Ⅰ组（对照组）饲喂基础饲粮，根据水貂常用鲜动物性饲料原料配制基础饲粮，其组成及营养水平见表 1；Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组分别饲喂在基础饲粮中添加 60、90、120 mg/kg

CS 的试验饲粮，添加方式为连续添加；Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组添加水平同Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ组，添加方式为间隔添加（连续添加 1 周，间隔 1 周）。预试期 7 d，正试期 53 d。正式试验开始后，每隔 15 d 于早晨空腹称重。试验动物采取单笼饲养，由专人进行饲养管理，每日 08:00 和 15:00 各喂食 1 次，自由采食并保证充足饮水。

表 1　基础饲粮组成及营养水平（风干基础）

Table 1　Composition and nutrient levels of the basal diet (air-dry basis)　　%

项目 Items	含量 Content
原料 Ingredients	
海鲶鱼 Catfish	10
安康鱼 Anglerfish	11
鸡肝 Chicken liver	15
鸡骨架 Chicken skeleton	19
鸡腺胃 Glandular stomach	24
膨化玉米 Extruded corn	20
预混料 Premix[1)]	1
合计 Total	100
营养水平 Nutrient levels[2)]	
干物质 DM	29.64
粗蛋白质 CP	37.84
粗脂肪 EE	23.64
代谢能 ME/(MJ/kg)	22.15
碳水化合物 CHO	24.37
钙 Ca	1.56
磷 P	1.08

1) 预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of the diet：VA 10 000 IU，VD_3 2 000 IU，VE 100 IU，VB_1 6 mg，VB_2 10 mg，VB_6 6 mg，VB_{12} 0.1 mg，VK_3 1 mg，VC 400 mg，烟酸 nicotinic acid 30 mg，*D*-泛酸 *D*-pantothenic acid 40 mg，生物素 biotin 0.2 mg，叶酸 folic acid 1 mg，胆碱 choline 400 mg，Fe 82 mg，Cu 20 mg，Mn 120 mg，Zn 50 mg，I 0.5 mg，Se 0.2 mg，Co 0.3 mg。

2) 代谢能和碳水化合物为计算值，其余为实测值。ME and CHO were calculated values, while the others were measured values.

1.3　样品采集

在正试期开始第 40 天至第 43 天开始消化代谢试验，每组挑选 6 只体重相近、采食正常的健康水貂。消化代谢试验期间饲养管理与日常饲养管理完全相同。采用全收粪法收集 4 d 的粪、尿，尿样收集前于收集桶中加入 20 mL 10%的硫酸固氮。消化代谢试验结束后，将尿液过滤收集于 10 mL 离心管中，保存于-20 ℃备用。全部粪样混合均匀后，取 200~300 g 经

10%的硫酸处理后，于 65 ℃烘干，粉碎后过 40 目筛保存备用。

1.4 指标测定

试验饲粮和粪样中的干物质、粗蛋白质、粗脂肪、粗灰分以及尿样中的粗蛋白质含量具体测定方法参照张丽英[7]的方法，营养物质消化率、氮沉积、净蛋白质利用率及蛋白质生物学价值计算公式如下：

干物质消化率（%）=[（干物质采食量-干物质排出量）/干物质采食量]×100；

粗蛋白质消化率（%）=[（粗蛋白质摄入量-粗蛋白质排出量）/粗蛋白质摄入量]×100；

粗脂肪消化率（%）=[（脂肪摄入量-脂肪排出量）/脂肪摄入量]×100；

氮沉积(g/d)=食入氮-粪氮-尿氮；

净蛋白质利用率（%）=（沉积氮/食入氮）×100；

蛋白质生物学价值(%)=[氮沉积/(食入氮-粪氮)]×100；

1.5 数据处理

数据采用 SAS 9.1 统计软件进行单因素方差分析（one-way ANOVA），差异显著性采用 Duncan 氏法进行多重比较，再采用 GLM 程序对数据进行多因子统计分析，数据以平均值±标准差表示，其中 P>0.05 为差异不显著，P<0.05 为差异显著， P<0.01 为差异极显著。

2 结 果

2.1 CS 对育成期水貂生长性能的影响

由表 2 可知，饲粮中添加 CS 对水貂的平均日增重无显著影响（P>0.05），但与 I 组相比，II~VII组的平均日增重均有所提高，且以 V 组最高；间隔添加组水貂的平均日增重高于连续添加组。饲粮中添加 CS 极显著影响了水貂的平均日采食量和料重比（P<0.01）；其中，V 组平均日采食量极显著低于 II 组（P<0.01），VI组极显著低于 I 、II 和III组（P<0.01）；V 组料重比最低，极显著低于 I 、II 、IV组（P<0.01）。CS 添加方式对水貂平均日采食量和料重比也有极显著影响(P<0.01)，间隔添加组极显著低于连续添加组（P<0.01）。CS 添加方式和添加水平对水貂生长性能的影响无显著交互作用(P>0.05)。

表 2 半胱胺对育成期水貂生长性能的影响

Table 2 Effects of cysteamine on growth performance of growing minks

项目 Items		始重 IW/g	末重 FW/g	平均日增重 ADG/g	平均日采食量 ADFI/(g/d)	料重比 F/G
组别 Groups	Ⅰ	803.88±24.27	1 171.50±80.58	6.40±0.76	74.48±2.73^{ABa}	11.49±1.17^{Aa}
	Ⅱ	793.88±14.88	1 204.13±46.23	7.06±0.40	76.13±2.05^{Aa}	10.75±0.72^{ABab}
	Ⅲ	794.63±23.99	1 193.88±62.75	7.00±1.17	74.17±1.63^{ABa}	10.02±1.07^{ABCbc}
	Ⅳ	786.38±20.73	1 174.25±58.14	6.70±1.05	72.77±4.46^{ABCab}	10.74±0.49^{ABab}
	Ⅴ	792.75±22.89	1 239.13±71.73	7.83±0.54	67.81±5.77^{BCbc}	8.86±0.86^{Cc}
	Ⅵ	791.75±27.70	1 226.13±43.45	7.33±1.09	65.72±6.12^{Cc}	9.63±0.91^{BCbc}
	Ⅶ	806.63±29.46	1 206.63±118.23	7.07±0.92	70.69±7.30^{ABCabc}	9.87±1.14^{BCbc}
添加方式 Supplemental way	连续 Continuous	791.63±54.79	1 190.75±55.12	6.92±0.91	74.36±3.14^{A}	10.50±0.83^{A}
	间隔 Interval	797.04±72.83	1 223.96±81.12	7.41±0.90	68.07±6.40^{B}	9.45±1.02^{B}
添加水平 Supplemental level/(mg/kg)	60	793.31±52.75	1 221.63±61.03	7.45±0.61	71.97±6.00	9.80±1.24
	90	793.19±70.82	1 210.00±54.73	7.17±1.11	69.95±6.14	9.82±0.97
	120	796.50±70.39	1 190.44±91.54	6.89±0.97	71.73±5.87	10.30±0.95
P 值 *P*-value	半胱胺 CS	0.997 2	0.470 2	0.070 6	0.004 9	0.000 7
	添加方式 Supplemental way	0.781 4	0.113 9	0.069 4	0.000 7	0.001 4
	添加水平 Supplemental level	0.987 6	0.463 7	0.232 3	0.563 7	0.315 0
	添加方式×添加水平 Supplemental way × supplemental level	0.863 8	0.998 1	0.746 3	0.223 0	0.127 4

同列数据同一项目肩标不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），不同大写字母表示差异极显著（$P<0.01$），相同或无字母表示差异不显著（$P>0.05$）。下表同。

In the same column and the same item, values with different small letter superscripts mean significant difference ($P<0.05$), and with different capital letter superscripts mean significant difference ($P<0.01$), while with the same or no letter superscripts mean no significant difference ($P>0.05$). The same as below.

2.2 CS 对育成期水貂营养物质消化率的影响

由表 3 可知，饲粮中添加 CS 显著提高了水貂粗蛋白质消化率和粗脂肪消化率（$P<0.05$），极显著提高了干物质消化率（$P<0.01$）。其中，Ⅴ组干物质消化率极显著高于Ⅰ和Ⅱ组（$P<0.01$）；Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ和Ⅶ组粗蛋白质消化率显著高于Ⅰ组（$P<0.05$）；Ⅲ和Ⅴ组粗脂肪消化率显著高于Ⅰ和Ⅱ组（$P<0.05$），与其他各组差异不显著（$P>0.05$）。CS 添加方式显著影响了水貂的干物质消化率（$P<0.05$），间隔添加组极显著高于连续添加组（$P<0.01$）。CS 添加水平对水貂的营养物质消化率均无显著影响（$P>0.05$），CS 添加方式和添加水平对水貂的营养物质消化率均无显著交互作用（$P>0.05$）。

表 3 半胱胺对育成期水貂营养物质消化率的影响

Table 3 Effects of cysteamine on nutrient digestibility of growing minks %

项目 Items		干物质消化率 DM digestibility	粗蛋白质消化率 CP digestibility	粗脂肪消化率 EE digestibility
组别 Groups	Ⅰ	83.03 ± 0.76^{Cd}	81.11 ± 1.58^{b}	94.61 ± 2.37^{c}
	Ⅱ	83.21 ± 0.90^{BCcd}	83.85 ± 1.81^{ab}	94.89 ± 0.95^{bc}
	Ⅲ	83.85 ± 0.58^{ABCabcd}	85.23 ± 1.85^{a}	96.54 ± 1.00^{a}
	Ⅳ	83.50 ± 1.47^{ABCbcd}	84.55 ± 4.80^{a}	96.08 ± 1.60^{abc}
	Ⅴ	84.90 ± 0.13^{Aa}	87.21 ± 3.06^{a}	96.69 ± 0.45^{a}
	Ⅵ	84.56 ± 0.99^{ABab}	86.00 ± 2.73^{a}	96.33 ± 0.44^{ab}
	Ⅶ	84.24 ± 0.41^{ABCabc}	85.77 ± 0.71^{a}	96.26 ± 0.56^{ab}
添加方式	连续 Continuous	83.52 ± 1.02^{B}	84.54±3.01	95.84±1.35

Supplemental ways	间隔 Interval	84.57±0.64^{A}	86.33±2.35	96.43±0.50
添加水平 Supplemental levels/(mg/kg)	60	84.06±1.07	85.53±2.97	95.79±1.18
	90	84.20±0.86	85.62±2.26	96.44±0.75
	120	83.87±1.10	85.16±3.33	96.17±1.15
P 值 *P*-value	半胱胺 CS	0.003 3	0.012 1	0.032 2
	添加方式 Supplemental way	0.001 0	0.065 1	0.066 0
	添加水平 Supplemental level	0.641 0	0.915 5	0.247 8
	添加方式×添加水平 Supplemental way × supplemental level	0.307 3	0.489 9	0.029 8

2.3 CS 对育成期水貂氮代谢的影响

由表 4 可知，饲粮中添加 CS 显著或极显著影响了水貂的氮代谢指标（$P<0.05$ 或 $P<0.01$）。其中，Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组食入氮含量极显著低于Ⅱ组（$P<0.01$）；Ⅲ、Ⅵ和Ⅶ组粪氮排出量极显著低于Ⅰ组（$P<0.01$）；Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组尿氮排出量极显著低于Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ和Ⅳ组（$P<0.01$）；Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组氮沉积显著高于Ⅰ组（$P<0.05$），Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组净蛋白质利用率极显著高于Ⅰ组（$P<0.01$），均以Ⅴ组最高；Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ组蛋白质生物学价值极显著高于Ⅰ组（$P<0.01$）。CS 添加方式极显著影响了水貂的食入氮含量、尿氮排出量、净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值（$P<0.01$），显著影响了氮沉积（$P<0.05$）。其中，间隔添加组水貂的食入氮含量、尿氮排出量极显著低于连续添加组（$P<0.01$），间隔添加组水貂的净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值极显著高于连续添加组（$P<0.01$），间隔添加组水貂的氮沉积显著高于连续添加组（$P<0.05$）。CS 添加水平显著影响了水貂的粪氮排出量（$P<0.05$），90 mg/kg 组显著低于 60 mg/kg 组（$P<0.05$）。CS 添加方式和添加水平对水貂氮代谢指标均无显著交互作用（$P>0.05$）

表 4 半胱胺对育成期水貂氮代谢的影响

Table 4 Effects of cysteamine on nitrogen metabolism of growing minks

项目 Items		食入氮 N intake/(g/d)	粪氮 FN/(g/d)	尿氮 UN/(g/d)	氮沉积 N retention/(g/d)	净蛋白质利用率 NPU/%	蛋白质生物学价值 BV of protein/%

组别 Groups	Ⅰ	4.51±0.17^{ABa}	0.85±0.09^{Aa}	2.71±0.26^{Aa}	0.95±0.29^{b}	21.10±6.38^{Bc}	25.93±7.53^{Cc}
	Ⅱ	4.61±0.12^{Aa}	0.77±0.06^{ABab}	2.57±0.14^{Aa}	1.28±0.17^{ab}	27.68±3.19^{ABbc}	33.19±3.48^{BCbc}
	Ⅲ	4.49±0.10^{aAB}	0.59±0.12^{Bc}	2.65±0.21^{Aa}	1.25±0.20^{ab}	27.91±4.42^{ABbc}	32.06±4.66^{BCc}
	Ⅳ	4.41±0.27^{ABab}	0.72±0.19^{ABabc}	2.45±0.22^{Aa}	1.23±0.28^{ab}	27.86±5.95^{ABbc}	33.23±6.12^{BCbc}
	Ⅴ	4.11±0.35^{Bb}	0.67±0.10^{ABbc}	1.90±0.40^{Bb}	1.54±0.44^{a}	37.47±9.63^{Aab}	44.68±10.78^{Aa}
	Ⅵ	4.09±0.25^{Bb}	0.58±0.13^{Bc}	2.03±0.17^{Bb}	1.48±0.36^{a}	35.95±7.30^{Aab}	41.83±7.43^{ABa}
	Ⅶ	4.12±0.36^{Bb}	0.60±0.05^{Bc}	2.06±0.13^{Bb}	1.47±0.26^{a}	35.38±3.54^{Aab}	41.35±3.67^{ABab}
添加方式 Supplemental way	连续 Continuous	4.50±0.19^{A}	0.69±0.15	2.56±0.20^{A}	1.25±0.21^{b}	27.82±4.38^{B}	32.83±4.61^{B}
	间隔 Interval	4.11±0.31^{B}	0.62±0.10	2.00±0.26^{B}	1.50±0.34^{a}	36.27±6.89^{A}	42.62±7.53^{A}
添加水平 Supplemental level/(mg/kg)	60	4.36±0.36	0.72±0.09^{a}	2.23±0.45	1.41±0.34	32.58±8.54	38.94±9.71
	90	4.29±0.27	0.58±0.12^{b}	2.34±0.37	1.37±0.30	31.93±7.13	36.95±7.81
	120	4.26±0.34	0.66±0.15^{ab}	2.26±0.27	1.35±0.29	31.62±6.10	37.29±6.41
*P*值 *P*-value	半胱胺 CS	0.001 4	0.000 8	＜0.000 1	0.025 9	0.000 4	0.000 2
	添加方式 Supplemental way	＜0.000 1	0.056 4	＜0.000 1	0.021 1	0.000 3	＜0.000 1
	添加水平 Supplemental level	0.665 5	0.031 1	0.495 8	0.878 4	0.926 4	0.729 6
	添加方式×添加水平 Supplemental way × supplemental level	0.605 3	0.375 0	0.308 7	0.989 0	0.892 7	0.820 3

3　讨　论

3.1　CS 对育成期水貂生长性能的影响

动物的生长是受多种因素如遗传基因、环境条件、营养供给、代谢状况等综合作用的过程，这些内外因素最终反馈给下丘脑作用于生长轴调节动物的生长[8]。CS 作为一种生长调

节剂，主要通过 2 种途径调节生长轴相关激素的分泌进而促进动物生长，一方面通过改变 SS 分子构型，降低其免疫活性，使动物体内 GH 水平升高；一方面抑制多巴胺-β 羟化酶活性，造成多巴胺在动物体内蓄积，进而在下丘脑促进 GH 合成，2 种途径综合作用提高动物生长性能[9]。本试验结果表明，饲粮中添加 CS 对水貂平均日增重的影响虽未达到显著水平，但 CS 添加组平均日增重相比对照组均有所增加，V组最高，比 I组提高了 22.34%，且随着 CS 添加水平的提高，平均日增重呈下降的趋势，可能原因是高添加水平引起水貂消化道黏膜损伤，使动物生长性能受到抑制。曹维维[10]研究发现，饲粮添加适宜或低水平的 CS 可以促进淮南麻鸭腺胃及十二指肠发育，而高添加水平不能对十二指肠发育产生显著影响，甚至造成腺胃内壁溃疡。其次，在本试验中，间隔添加组水貂的平均日增重较连续添加组提高了 7.08%，这可能与 CS 的时间依赖效应有关，具体机制还有待进一步研究。

本试验结果表明，饲粮中添加 CS 可以降低水貂的平均日采食量，连续添加组极显著低于间隔添加组，较间隔添加组降低了 8.46%，各组料重比较对照组也有不同程度地降低，以 V组最低，较对照组降低了 16.19%，此外间隔添加组料重比低于连续添加组，这与前人在毛皮动物上的研究结果一致。王忠艳[11-12]研究报道，饲粮添加 CS 可以极显著降低水貂和银狐采食量，提高饲粮转化率。黄卉等[13]研究表明，饲粮添加适宜水平的 CS 可以提高貉的平均日增重，降低平均日采食量，提高饲料利用率。间隔添加的效果优于连续添加，且低添加水平效果优于高添加水平，可能由于 CS 的高水平持续刺激使其在动物体内残留，而 CS 作为一种化学物质，浓度过高可能对动物产生毒性，造成动物生长性能下降。

3.2　CS 对育成期水貂营养物质消化率的影响

本试验结果显示，水貂干物质消化率随着 CS 添加水平的增加呈先增加后降低的趋势，以 90 mg/kg 添加水平效果最好，且间隔添加组极显著高于连续添加组，这与干物质采食量降低的趋势基本一致。水貂为满足自身需要，在降低采食量的同时，可能通过提高饲粮干物质消化率来保证自身从饲粮中获取足够的营养物质。Yang 等[14]研究发现，饲粮低添加水平的 CS 可显著提高雏鸡小肠和胰腺蛋白酶和脂肪酶分泌量及活性，而高添加水平则有抑制作用。Khomenoko 等[15]研究发现，CS 可以通过直接耗竭 SS，提高 GH 水平，同时解除对各种消化酶的抑制作用，加快胃肠道蠕动，使机体消化吸收和合成代谢增强。Du 等[16]研究表明，饲粮中添加 CS 可促进断奶仔猪胃泌素的分泌。胃泌素是胃酸分泌的主要调节激素，除此之外，对胃黏膜也有一定促生长作用[17]，双重作用确保胃肠道安全，同时增加胃蛋白酶

的活性，促进营养物质消化利用。本试验结果显示，CS 添加组水貂粗蛋白质消化率和粗脂肪消化率均不同程度高于对照组，且以V组最高，粗蛋白质消化率比对照组提高了 7.52%，粗脂肪消化率比对照组提高了 2.20%，间隔添加效果优于连续添加。因此，饲粮添加 CS 可能通过调节肠道内分泌功能、提高胃肠道消化酶活性、促进胃肠蠕动来促进营养物质的消化吸收，但相关机制还有待进一步研究。

3.3　CS 对育成期水貂氮代谢的影响

氮代谢能够反映机体蛋白质代谢情况，蛋白质代谢是影响动物生长发育的一个重要指标。由本试验结果可知，由于各组水貂采食量的差异，从而使水貂食入氮含量存在差异。司国利[18]和刘月琴等[19]在绵羊的研究上发现，饲粮添加 CS 可显著降低动物粪氮和尿氮排出量，提高动物氮沉积，且高添加水平对动物氮沉积有抑制作用。本试验结果也表明，各 CS 添加组粪氮和尿氮排出量相比对照组有降低的趋势，氮沉积有增高的趋势，以V组氮沉积最高，且随着 CS 添加水平的增高而降低，间隔添加效果优于连续添加，提高了 20%，说明饲粮适宜的 CS 添加水平可以促进水貂机体蛋白质的合成，减少蛋白质降解。动物机体蛋白质的合成受多种因素的影响，Eisemann 等[20]报道，GH 能提高氨基酸合成蛋白质的速度，降低氨基酸的氧化分解，从而提高蛋白质的沉积。CS 作为生物体内的活性物质，可以降低消化道及血液中 SS 水平，提高 GH、胰岛素样生长因子（IGFs）、胃泌素等激素及胰酶、胃蛋白酶等消化酶大量分泌，促进机体合成代谢的增强[21]。胰岛素样生长因子 I(IGF- I)、甲状腺激素[三碘甲腺原氨酸（T_3）、甲状腺素（T_4）]也是影响动物机体蛋白质合成的重要因素，徐银学等[22]研究表明，饲粮添加 CS 可以提高海狸鼠血液中 GH 和 IGF- I水平。白世平等[23]研究报道，饲粮添加 CS 可以提高水貂血液中 IGF- I、T_3 和 T_4 水平。因此，饲粮添加 CS 可能通过调节机体内分泌系统促进氮代谢。净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值是衡量饲粮蛋白质利用程度的指标。本试验结果表明，CS 添加组净蛋白质利用率和蛋白质生物学价值均高于对照组，且以V组最高，间隔添加组高于连续添加组，间隔添加组净蛋白质利用率高于连续添加组 31.51%，蛋白质生物学价值高于连续添加组 29.82%，说明在水貂饲粮中间隔添加 60 mg/kg CS 可以促进饲粮蛋白质的利用。有关 CS 对机体氮代谢影响的研究较少，作用机理还有待探讨。研究学者针对 CS 在畜牧养殖领域的应用效果，分别在黄羽鸡、东北细毛羊、泌乳奶牛和肉牛等开展了试验，得出了不同动物使用 CS 的适宜水平及效果评价[24-27]. 本试验首次在短毛黑水貂育成期阶段，结合添加方式的优劣，筛选出适宜的添加水平，为今

后毛皮动物领域合理利用 CS 提供了理论支持和指导。

4 结 论

饲粮中添加 CS 能够促进水貂的生长，提高营养物质消化率及氮代谢。在本试验条件下，育成期水貂饲粮中 CS 的适宜添加水平为 60 mg/kg，适宜添加方式为间隔添加。

参考文献：

[1] 赵炳超,石波,李秀波,等.我国饲料添加剂的现状与发展趋势[J].饲料与畜牧,2006(2):24–26.

[2] MCLEOD K R,HARMON D L,SCHILLO K K,et al.Effects of cysteamine on pulsatile growth hormone release and plasma insulin concentrations in sheep[J].Comparative Biochemistry and Physiology Part B:Biochemistry and Molecular Biology,1995,112(3):523–533.

[3] SZABO S,RCICHIN S.Somatostatin in rat tissues is depleted by cysteamine Administration[J].Endocrinology,1981,109(2):2255–2257.

[4] 艾晓杰,韩正康.半胱胺对鹅胰液分泌及胰酶活性的影响[J].中国应用生理学杂志,2002,18(3):297–300.

[5] 王建峰,乐国伟,施用晖,等.高能日粮条件下半胱胺对大鼠抗氧化功能的影响[J].中国饲料 2005(6):10–14.

[6] BRYANT H U,HOLADAY J W,BERNTON E W.Cysteamine produces dose-related bidirectional immunomodulatory effects in mice[J].Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics,1989,249(2):424–429.

[7]张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M].2版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[8] 王子荣,赵茹茜,陈杰.通过生长轴调控动物生长[J].草食家畜,1999(1):41－45.

[9] 赵学军,苏军,彭金风,等.生长抑素在动物生产上研究进展[J].中国畜牧杂志,2003,39(6):46－48.

[10] 曹维维.半胱胺对淮南麻鸭体重、腺胃及十二指肠发育的影响[D].硕士学位论文.武汉：华中农业大学,2013.

[11] 王忠艳.半胱胺在银狐育成期、生长期和准备配种期饲料中的应用[D].博士学位论文.哈尔滨:东北林业大学,2006.

[12] 王忠艳.半胱胺对育成期水貂生长和饲料转化率的影响[J].东北林业大学学报,2011,39(4):105－106,109.

[13] 黄卉,郑银伟,刘志平,等.半胱胺对貉体质量及饲料利用效果的影响[J].东北林业大学学报,2015,43(3):107－108,116.
[14] YANG C M,CHEN A G,HONG Q H,et al.Effects of cysteamine on growth performance,digestive enzyme activities,and metabolic hormones in broilers[J].Poultry Science,2006,85(11):1912–1916.
[15] KHOMENOKO T,DENG X M,JADUS M R,et al.Effect of cysteamine on redox-sensitive thiol-containing proteins in the duodenal mucosa[J].Biochemical and Biophysical Research Communications,2003,309(4):910–916.
[16] DU G,SHI Z,XIA D,et al.Cysteamine improves growth performance and gastric ghrelin expression in preweaning piglets[J].Domestic Animal Endocrinology,2012,42(4):203–209.
[17] 孙凤蓬,宋于刚.胃泌素及其相关胃肠激素的研究进展[J].国外医学：生理、病理科学与临床分册,2000,20(3):229－231.
[18] 司国利.不同剂量半胱胺对绵羊消化代谢和生产性能的影响[D].硕士学位论文.北京:中国农业大学,2004.
[19] 刘月琴,张英杰,杨庆华,等.不同剂量半胱胺对绵羊消化代谢和生长发育的影响[J].黑龙江畜牧兽医,2006(10):50－51.
[20] EISEMANN J H,HAMMOND A C,BAUMAN D E,et al.Effect of bovine growth hormone administration on metabolism of growing Hereford heifers:protein and lipid metabolism and plasma concentrations of metabolites and hormones[J].The Journal of Nutrition,1987,116(12):2504–2515.
[21]刘智.半胱胺对仔猪免疫机能的影响及其机理研究[D].硕士学位论文.合肥:安徽农业大学,2007.
[22] 徐银学,李建武,龚卫忠,等.CS87 与添加剂对海狸鼠生长及有关激素水平的影响[J].畜牧与兽医,2001,33(5):9–11.
[23] 白世平,袁缨,权志中,等.日粮中添加半胱胺对雄性水貂的生产性能、血液激素水平的影响[J].经济动物学报,2006,10(3):133–136.
[24] 马现永,林映才,周桂莲,等.半胱胺添加水平对黄羽肉鸡生长性能、肉质及机体抗氧化能力的影响[J].动物营养学报,2009,21(6):916–923.
[25] 任道平,耿忠诚,刘胜军,等.半胱胺和大豆黄酮对东北细毛羊部分组织 *IGF*-Ⅰ mRNA 表达量的影响[J].动物营养学报,2009,21(6):967–973.
[26] 杨宏波,刘红,陈银岳,等.半胱胺盐酸盐对泌乳奶牛生产性能和血清激素水平的影响[J].动物营养学报,2014,26(7):1975–1980.
[27] 杨佳栋,李建国,李英,等.半胱胺对肉牛生产性能和养分消化率及血清生化指标的影响[J].

动物营养学报,2006,18(4):261–266.

Dietary Cysteamine Appropriate Supplemental level and Supplemental Way of Growing Minks

SUN Weili[1] FAN Yanyan[1] WANG Zhuo[1] GU Haijun[2] DU Dongsheng[3] LI Bin[3] LI Guangyu[1*]

(1. *Jilin Provincial Key Laboratory for Molecular Biology of Special Economic Animals*, *Institute of Special Animal and Plant Sciences*, *Chinese Academy of Agriculture Sciences*, *Changchun* 130112, *China*; *2. Jilin Teyan Biotechnology Company limited, Changchun* 130112, *China*; *3. ShenYang BoYang Feed Co., Ltd., Liaozhong,* 110201, *China*)

Abstract: This study was conducted to investigate effects of dietary cysteamine (CS) on growth performance, nutrient digestibility and nitrogen metabolism of growing minks, and to find the dietary cysteamine appropriate supplemental level and supplemental way. The experimental method of double-factor design was adopted. Fifty-six (86±5)-day-old healthy black short-haired female minks with similar body weight were randomly assigned into 7 groups with 8 replicates per group and 1 mink per replicate. Minks in group Ⅰ (control group) were fed a basal diet; minks in groups Ⅱ, Ⅲ and Ⅳ were fed the basal diets supplemented with 60, 90 and 120 mg/kg CS, respectively, the supplemental way was continuous; minks in groups Ⅴ, Ⅵ and Ⅶ were fed the basal diets supplemented with 60, 90 and 120 mg/kg CS, respectively, the supplemental way was interval (continuous supplemented 1 week, 1 week interval). The preliminary experimental period lasted for 7 days and the experimental period lasted for 53 days. The results showed as follows: 1) dietary CS had significantly effects on the average daily feed intake and feed to gain ratio of minks (P<0.01), but had no significant effects on average daily gain (P>0.05). The feed to gain ratio in group Ⅴ was significantly lower than that in groups Ⅰ, Ⅱ and Ⅳ (P<0.01); the average daily gain got the highest in group Ⅴ, and interval group was higher than continuous group. 2) Dietary CS had significantly effects on the crude protein digestibility and ether extract digestibility of minks (P<0.05), as well as the dry matter digestibility (P<0.01), and the highest values were observed in group Ⅴ. The CS supplemental

way had significantly effects on the dry matter digestibility ($P<0.01$), and the interval group was significantly higher than continuous group ($P<0.01$). 3) Dietary CS had significantly effects on the nitrogen metabolic indices of minks （$P<0.05$ or $P<0.01$）. The nitrogen deposition in groups Ⅴ, Ⅵ and Ⅶ was significantly higher than that in group Ⅰ ($P<0.05$), the net protein utilization and biological value of protein in groups Ⅴ, Ⅵ and Ⅶ were significantly higher than those in group Ⅰ ($P<0.01$), and the highest values were observed in group Ⅴ. The CS supplemental way had significantly effects on the nitrogen intake content, urinary nitrogen output, net protein utilization and biological value of protein of minks ($P<0.01$). The nitrogen intake content and urinary nitrogen output of minks in interval group were significantly lower than those in continuous group ($P<0.01$), the nitrogen deposition in interval group was significantly lower than that in continuous group ($P<0.05$), the net protein utilization and biological value of protein in interval group were significantly lower than those in continuous group ($P<0.01$). The CS supplemental level had significantly effects on fecal nitrogen output of minks ($P<0.05$), and the fecal nitrogen output of minks in 90 mg/kg group was significantly lower than that in 60 mg/kg group ($P<0.05$). In conclusion, the dietary CS appropriate supplemental level of minks is 60 mg/kg, and the appropriate supplemental way is interval supplementation.

Key words: minks; cysteamine; growth performance; nutrient digestibility; nitrogen metabolism

---

*Corresponding author, professor, E-mail: tcslgy@126.com （责任编辑　武海龙）